Aus der Königlichen Universitäts-Augenklinik zu Breslau.

Ueber den

Einfluss des Lebensalters auf die Adaptation.

Inaugural-Dissertation,

der

Hohen Medizinischen Fakultät der Kgl. Universität Breslau

zur

Erlangung der Doktorwürde

in der

Medizin und Chirurgie

vorgelegt und mit Genehmigung derselben veröffentlicht

von

Curt Cohen.

Stuttgart
Hoffmannsche Buchdruckerei
1906

Aus der Königlichen Universitäts-Augenklinik zu Breslau.

Ueber den

Einfluss des Lebensalters auf die Adaptation.

Inaugural-Dissertation,

der

Hohen Medizinischen Fakultät der Kgl. Universität Breslau

zur

Erlangung der Doktorwürde

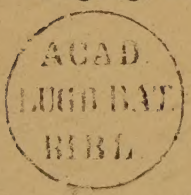
in der

Medizin und Chirurgie

vorgelegt und mit Genehmigung derselben veröffentlicht

von

Curt Cohen.



Stuttgart
Hoffmannsche Buchdruckerei
1906

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät

der Universität Breslau.

Referent: Professor Dr. Uhthoff.

Küstner, Dekan.

Dem Andenken meiner Eltern

Nach Auberts (1) (1865) Beispiel und Vorschlag wird mit „Adaptation“ die „Akkommodation des Auges für Lichtintensitäten“ bezeichnet. Dieser seit alten Zeiten bekannte Vorgang bedurfte der Erforschung und Begründung durch die Physiologie.

Es ist eines der grossen Verdienste Herings (6) in seiner „Lehre vom Lichtsinn“ die wissenschaftliche Grundlage für unsere Anschauungen von dem Vorgange der Adaptation festgelegt zu haben. Seine Grundsätze sind etwa folgende: Die Lichtempfindung wird durch chemische Einwirkung des Lichtes auf das Sehorgan hervorgerufen. Die Grenzen der Lichtempfindung sind bezeichnet einerseits durch weiss, andererseits durch schwarz; beide Grenzextreme der Empfindung entsprechen den Höhepunkten in der Wirkung zweier verschiedener chemischer Prozesse, die auf das Sehorgan in entgegengesetzter Weise einwirken. Innerhalb dieser Grenzen entsprechen die verschiedenen Empfindungsqualitäten den Intensitäten der Reize resp. deren Zusammensetzung aus den Schwarz- und Weisskomponenten. Der auf das absolute Weiss zu gerichtete Prozess bewirkt Dissimilierung, der auf das absolute Schwarz zu gerichtete Assimilierung der Sehsubstanz. In dem die Mitte haltenden Grau paralysieren sich die „zersetzenden“ und „ersetzenden“ Faktoren, d. h. Dissimilierung und Assimilierung sind hier gleich gross. Im allgemeinen halten nun die Assimilierungsvorgänge den Dissimilierungsvorgängen im Auge die Wagschale, so dass ein ständiges Gleichgewicht im Verbrauch und Ersatz der erregbaren Substanz vorherrscht. Die Erregbarkeit für dissimilierende Reize (D-Erregbarkeit) wächst bei der Assimilierung (A) und nimmt bei Dissimilierung (D) entsprechend ab. Für die Erregbarkeit für assimilierende Reize (A-Erregbarkeit) gilt das umgekehrte. Den Parallelismus zwischen dem chemischen Geschehen und der Empfindung möchte ich in folgender Tabelle nach Herings Angaben zum Ausdruck bringen:

Chem. Prozess:	Dissim.	Dissim. grösser als Assim.	D = A	Assim. grösser als Dissim.	Assim.
Sehsubstanz:	Nimmt ab		Unverändert	Nimmt zu	
Empfindung:	Weiss	Hellere Empfindung	Mittleres Grau	Dunklere Empfindung	Schwarz
D-Erregbarkeit:	Nimmt ab		Gleich d. A-Erregbarkeit	Nimmt zu	
A-Erregbarkeit:	Nimmt zu		Gleich d. D-Erregbarkeit	Nimmt ab	

Von der jeweiligen nach erfolgter Reizeinwirkung herrschenden Erregbarkeit ist ceteris paribus die Intensität abhängig, mit welcher das Sehorgan auf den folgenden Reiz reagiert. Diese verschiedene Erregbarkeit hängt ab, wenn wir einen andern Namen für das gekennzeichnete Verhältnis der für die Lichtempfindung in Betracht kommenden Faktoren zu einander einführen wollen, von dem Adaptationszustande der Netzhaut.

Wenn wir Hering (6) soweit gefolgt sind, werden wir nunmehr sagen können, dass eine gute Adaptation im allgemeinen abhängig sein wird von einem prompten Ablaufe der psychophysischen Prozesse. Damit die äusseren Reize in entsprechende Empfindungen umgesetzt werden können, müssen die Elemente, an welche die Adaptation gebunden ist, unter bestimmten Ernährungsbedingungen stehen. Den physiologischen Vorgang der Adaptation präzisiert Krienes (7) als im wesentlichen gebunden, „1. an die Produktion der Sehstoffe (Sehrot etc.) seitens der Chorioidealdrüse (Pigmentepithel und Aderhaut). 2. An die Vorwanderung des retinalen Pigmentes bei Belichtung des Augengrundes". Durch den unter 1 verzeichneten entsprechenden Ersatz der Sehstoffe im Falle des Verbrauches solcher bei der Belichtung wird der Gleichgewichtszustand zwischen Dissimilierung und Assimilierung (Hering) herbeigeführt, das Auge adaptiert sich.

Die Vorwanderung des retinalen Pigmentes ist nach Krienes (7) als Schutz- und Regulierungsapparat der Adaptation aufzufassen, indem das Pigment die in den Stäbchenaussengliedern abgelagerten Sehstoffe im Falle einer „Blendung" vor übergrosser chemischer Zersetzung schützt. Beide Grundlagen der Adaptation müssen ebenso wie die von Krienes als 3. (untergeordneter) Faktor derselben verzeichneten „Schutz- und Hilfsvorrichtungen" (Lider, Pupillenreaktion, brechende Medien, Augenbewegungen u. a. m.) unter bestimmten Stoffwechselbedingungen stehen, um tadellos ihre bestimmten Funktionen

zu erfüllen. In der Ophthalmologie spielen bekanntlich bei den Erkrankungen der Adaptationsfähigkeit (Hemeralopie) die Ernährungsverhältnisse des Patienten ätiologisch die Hauptrolle. Aber auch innerhalb physiologischer Grenzen ist die grosse individuelle Verschiedenheit der Adaptationsfähigkeit bekannt. Es liegt nun nahe, anzunehmen, dass die verschiedenen Stufen des Lebensalters sich in bezug auf ihre Adaptation entsprechend dem Umstande unterscheiden, dass die Organe in verschiedenem Alter wohl unter verschiedenartigen Stoffwechselbedingungen stehen, wie wir gewöhnt sind, am ganzen menschlichen Organismus in der Jugend eine Zunahme, im Alter eine Abnahme der Organtüchtigkeit auf allen Gebieten innerhalb des Physiologischen zu beobachten.

Literatur.

„Wer aus der Tageshelle in einen dämmerigen Ort übergeht, unterscheidet nichts in der ersten Zeit; nach und nach stellen sich die Augen zur Empfänglichkeit wieder her, starke früher als schwache, jene schon in einer Minute, wenn diese 7—8 Minuten brauchen."

Setzen wir in diesem Satze an Stelle der Worte „starke früher als schwache" die Worte „junge früher als alte", — was wohl den allgemeinen physiologischen Anschauungen entsprechen dürfte —, so haben wir bei Goethe (5) den ältesten Hinweis auf den Einfluss des Lebensalters auf die Adaptation. Derartige positive Hinweise sind sehr spärlich in der Literatur zu finden. Zum Thema einer Arbeit wie im vorliegenden Falle scheint diese Frage nie gewählt worden zu sein. In Rücksicht auf die besonderen Beziehungen zu meinem Thema musste ich unter den Autoren eine Auslese treffen, so dass mein Verzeichnis keineswegs alle Autoren enthalten kann, die über Lichtsinnprobleme gearbeitet haben, deren Zahl nebenbei ausserordentlich gross ist. Ich werde zunächst auf die verhältnismässig wenigen Autoren eingehen, die das Wesen der Adaptation zum Ziele eingehender Untersuchungen gemacht haben.

Aubert (1) war der erste, der systematische Untersuchungen über die Adaptation anstellte. Er verschaffte sich seine Vorstellungen über Adaptation nicht nur durch Feststellung der Reizschwelle (Fechner) nach Dunkeladaptation von bestimmter Dauer, sondern er variierte während des Versuches die Lichtmenge, mass diese und stellte die Zeit fest, in welcher dies geschehen musste. Er legte also bereits Wert darauf, sich ein Bild von dem Verlaufstypus der Adaptation zu verschaffen.

Aubert bediente sich hierzu eines dunklen Raumes und bestimmte die verminderten Lichtintensitäten u. a. durch die Länge eines glühenden Drahtes, der von einem Danielschen Elemente gespeist wurde. Er fand die Zunahme der Reizempfindlichkeit der Retina, also die Bedingung für die Adaptation, abhängig

1. von der absoluten Helligkeit,
2. von dem „simultanen Kontraste", d. i. hier der Helligkeitsunterschied, und
3. von dem Gesichtswinkel, unter dem das Fixationsobjekt sich auf der Retina abbildet und bei dessen Variierung sich die Grösse des Netzhautbildes ändert.

Das Resultat von Auberts Untersuchungen ist u. a. die Feststellung, dass „die Empfindlichkeit für Lichtreize am Ende seiner Versuche, also nach ca. $1^1/_2$stündiger Adaptation, 35mal grösser war als am Anfange derselben." Er brachte die Typen des Adaptationsverlaufes in Kurven zur Anschauung.

Nächst Aubert widmete sich Charpentier (2 u. 3) der eingehenderen Erforschung der Adaptation. Charpentier hat unter seinen vielen Arbeiten auf dem

Gebiete des Lichtsinnes zwei kurze Monographien der Adaptation geschrieben, in deren erster er seine eigene Untersuchungsmethode für die Feststellung der Reizschwelle und den Ablauf der Adaptation angibt. Er bediente sich seines „Photoptometers“ und 6 Rauchgläser von verschieden abgestufter, bestimmter Lichtdurchlässigkeit. Unter gleichzeitiger Verminderung der Diaphragmaöffnung seines Apparates und zunehmender Verdunkelung mittelst der Gläser konstatierte er eine Zunahme der Reizempfindlichkeit proportional der Abnahme der Lichtintensität. Im Dunkeln war die Reizschwelle am niedrigsten. Gegenüber der Auberts ist Charpentiers Methode exakter. Er kommt auch zu völlig anderen Resultaten. Er liess die Leute ohne vorherige Dunkeladaptation adaptieren und untersuchte monokular. In der Arbeit über den Gang der Adaptation kommt er zu dem Ergebnis, dass am Ende der Dunkeladaptation die Reizempfindlichkeit nach voraufgegangenem Zimmeraufenthalt 230mal, nach voraufgegangenem Aufenthalt im Freien 676mal so gross war wie vor der Dunkeladaptation. Letztere Beobachtung ist wohl auf künstlich herbeigeführte extreme Bedingungen gestützt. Der Norm dürfte eher die erstere entsprechen.

Aubert (1) sowohl wie Charpentier (2 u. 3) kommen zu der Regel, dass die Reizschwelle sich im Verlaufe der Adaptation erst rapide, dann immer allmählicher erniedrige (Auberts Adaptationsregel).

Hierin stimmt beiden auch Treitel (14) bei, der mit Hilfe seiner Lichtsinntafeln „unter gleichen Verhältnissen“ das „Sehvermögen“ sofort nach dem Eintritt ins Dunkle und darauf nach 15—20 Minuten langer Dunkeladaptation untersuchte.

Hiermit dürfte die Reihe älterer Untersuchungen erschöpft sein, die sich systematisch mit der Erforschung des Adaptationsverlaufs beschäftigen.

1903 gab nun Piper (10) wieder eine grössere Arbeit über Dunkeladaptation heraus. Er verwirft die Methoden seiner Vorgänger und gibt eine eigene Methode an:

Auf der von der Versuchsperson zu beobachtenden Mattscheibe einer Camera wird durch eine Linse das Licht einer elektrischen Lampe entworfen, das durch einen weissen Karton gleichmässig gemacht wird und durch Mattscheiben beliebig abgeschwächt werden kann. Die fortgesetzte Verdunkelung wird durch eine Irisblende erreicht. Piper untersuchte binokulär. Mit seiner Methode, deren Exaktheit nichts zu wünschen übrig lässt, machte Piper sehr interessante Versuche über den Adaptationsverlauf, indem er die Personen, wie sie aus dem Hellen kamen, an den Apparat setzte und dort in Zwischenräumen von wenigen Minuten die Blendenöffnung verkleinerte und die eben noch wahrnehmbare Lichtintensität bestimmte. Hieraus wurde die Empfindlichkeit des betreffenden Lichtsinnes berechnet (Reizschwellen). Pipers Kurve über die Zunahme der Lichtempfindlichkeit, in welcher „auf der Abszissenachse die Zeiten, als Ordinaten die Empfindlichkeitswerte der Retina eingetragen wurden“, steigt im Beginn der über eine Stunde und länger ausgedehnten Adaptation allmählich an, wird in der Mitte steil und flacht sich am Ende, d. i. auf der maximalen Ordinatenhöhe, wieder bis zum Parallelverlauf mit der Ausgangsabszisse ab. Piper vermutet, ebenso wie Tschermak (Pflüg. Arch. 1900), dass das Lebensalter typische Variationen hinsichtlich der Empfindlichkeitszunahme zeigen müsste.

Es steht ausser Frage, dass Piper unsere Vorstellungen über den Ablauf der Adaptation bedeutend geklärt hat. Erwähnen will ich, dass mir an seiner Methode der Umstand als Mangel erscheint, dass ein diffuses Licht von der Versuchsperson beobachtet wird; es fehlt ein Hauptfaktor für eine exakte Lichtsinnprüfung: der simultane Kontrast. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Kurve einer jeden Versuchs-

person an sich einen wertvollen Beitrag für die Erkenntnis des Adaptationsverlaufes darstellt, eine absolute Gleichwertigkeit der einzelnen Beobachtungen kann diesen jedoch nicht beigemessen werden, da sie nicht unter Verwendung völlig gleicher Bedingungen gemacht wurden. Hierzu wäre erforderlich gewesen, alle Versuchsaugen vor Beginn der Versuche unter möglichst gleiche Adaptationsbedingungen zu bringen. Dies wäre bei der Piperschen Methode, die die Person direkt aus dem Hellen an den Apparat bringt, nur dadurch möglich gewesen, dass alle Versuchspersonen stundenlang vorher gleichmässig hell adaptiert worden wären, was de facto kaum ausführbar ist. Diesen Schaden hat Pipers Vorgehen auf der einen Seite, auf der anderen jedoch vielleicht den Vorzug, dass er sich so ein Bild über den Gesamtablauf der Dunkeladaptation verschafft. Des erwähnten scheinbaren Vorteils ginge Piper verlustig, wenn er nach Försters (4) Vorschrift die Versuchspersonen vor Beginn der Untersuchung erst ca. 15 Minuten absolut dunkel adaptieren würde, wobei allerdings möglichst gleiche Bedingungen geschaffen werden, aber nur ein Abschnitt in dem Adaptationsablauf zur Beobachtung kommt. Man kann sich aber überhaupt kaum ein Bild vom Gesamtablaufe der Adaptation machen, da man Dunkeladaptation ad maximum steigern kann und die Helladaptation vor der Untersuchung nicht in der Hand hat.

So glaube ich denn tatsächlich, dass bei allen Adaptations- resp. Reizschwellenprüfungen ein circulus vitiosus vorliegt und eine ideale Untersuchungsmethode noch nicht gefunden resp. kaum durchführbar ist.

Kommt es also bei einer Untersuchung auf möglichst umfassende Einzelresultate ohne Rücksicht auf deren Vergleichbarkeit an, so dürfte sich Pipers Verfahren empfehlen, handelt es sich jedoch darum, unter möglichst gleichen Bedingungen Vergleichswerte zu ermitteln, so muss eine andere, besonders zweckentsprechende Methode angewandt werden (s. u.).

Piper hat das Lebensalter bei seinen Versuchen nicht berücksichtigt. Er erhielt nur grosse individuelle Schwankungen, die wohl zum Teil auf Rechnung der verschiedenen Adaptationsstufen bei Beginn der Versuche zu setzen sind. Aus oben angeführten Gründen sah ich mich genötigt, mir eine eigene Methode zur Prüfung des Adaptationsablaufes bei Personen verschiedenen Alters zurecht zu legen, die ich jetzt beschreiben werde.

Methode.

Es sollen unter gleichen Bedingungen Vergleichsresultate ermittelt werden. Die Hauptbedingung für meine Methodik lag also in der Beschaffung gleicher Bedingungen, äusserer wie innerer. Die äusseren

Bedingungen werden durch einen geeigneten Apparat, die inneren durch Vorbereitung der zu untersuchenden Retina erfüllt.

Der Apparat muss eine bestimmte einfache Lichtquelle mit simultanem Kontraste enthalten. Die Beleuchtung muss stets gleichmässig, die Verdunkelung regulierbar sein; der Gesichtswinkel stets konstant. Das alte Förstersche Photometer erschien mir für meine Methode geeignet, doch musste ich an ihm gewisse Aenderungen vornehmen.

In der Schrift, in welcher Förster (4) sein Photometer beschreibt, gibt er auch vor der eigentlichen Abhandlung über Hemeralopie Fingerzeige für die Benützung seiner Methode bei gesunden Augen.

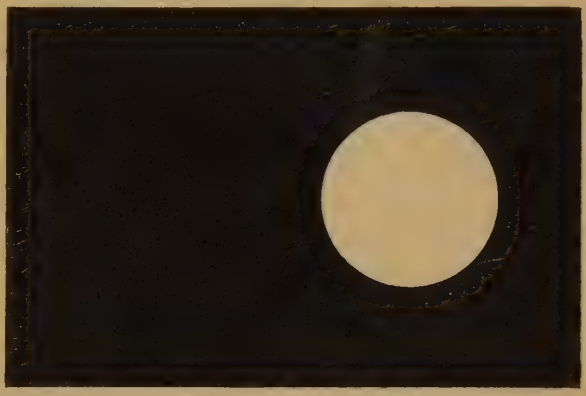
Förster stellte unter gleichen Bedingungen die Reizschwelle fest, wobei er das Diaphragma änderte und verschieden dicke Striche in Anwendung brachte. Er erblickt offenbar in letzterer Methode keine fehlerhafte Inanspruchnahme des Raumsinnes der zu Untersuchenden, warnt dagegen vor der Verwendung von Buchstaben. Förster verlangt vor der Untersuchung eine gründliche Dunkeladaptation und hält das Auftreten von abnormen Sensationen der Augen bei minimaler Belichtung der Versuchsobjekte für ein Zeichen, dass die normale Adaptation an ihrer Grenze angelangt ist. Die Kapazität der Retina für schwache Kontraste, so schreibt er, unterliege individuellen Verschiedenheiten, die noch als in der Breite des Normalen liegend zu betrachten sind.

An dem Försterschen Photometer nahm ich folgende Aenderungen vor: An Stelle der die ganze Hinterwand einnehmenden Objekte, 8 schwarze Striche von verschiedener Breite auf weissem Grunde, wurde ein Fixationsobjekt an der Hinterwand so angebracht, dass sein Mittelpunkt sich gegenüber der Mitte zwischen den beiden Augenlöchern befindet. Der übrige Teil der Wand bleibt schwarz. Durch diese Anbringung des Objektes werden die Augen des Beobachters ruhig geradeaussehend festgestellt und machen nicht kleine Bewegungen, wie dies bei der Försterschen Objektanbringung unwillkürlich geschieht, um alles auf der Hinterwand zu erkennen. Durch derartige Augenbewegungen werden aber in regelloser Weise — bei einer Person mehr, bei der andern weniger — in den Augen der Versuchspersonen periphere Netzhautstellen betroffen, an denen im Vergleich zum Zentrum die Adaptation rascher ist. Letztere Tatsache, seit langem bekannt, wurde von Senn (12) bestätigt; ebenso fand Pertz (9) bei Gaslicht, dass die Peripherie der Netzhaut eine 72,25mal grössere Lichtempfindlichkeit besitzt, als die Fovea centralis. Neuerdings bestätigen wiederum Nagel und Schäfer (8), dass die Fovea schlechter als die Peripheri adaptiert. Bereits Wolffberg (16) hat die gekennzeichnete Objektanbringung Försters als unpraktisch bezeichnet. Treitel (13) wies auf den ferneren Nachteil

Fig. 1.

des Förster-Photometers hin, dass die Angabe der betreffenden Anzahl von Strichen und deren Erkennen Ansprüche an den Raumsinn der Retina stelle, während doch der Lichtsinn isoliert geprüft werden soll. Er gibt einen Ergänzungsapparat zur Prüfung des zentralen Lichtsinnes an: ein weisses Papierquadrat von 3 mm Seitenlänge auf einer schwarzen Sammetscheibe von 30 mm Radius wird im Photometer genau zentral durch eine konische Pappröhre beobachtet, deren Achse auf die Mitte des weissen Quadrats zeigt. Da ich nicht beabsichtigte, nur den zentralen Lichtsinn zu prüfen, sondern eine grössere parazentrale Partie, wobei es mir nur auf ein stets möglichst konstantes Areal ankam, wählte ich als Fixationsobjekt an der beschriebenen Stelle gegenüber den Augenlöchern eine einfache weisse Scheibe auf schwarzem Grunde. So sind alle durch Form oder Zahl komplizierten Erkennungsvorgänge ausgeschlossen, und ich habe ein Fixationsobjekt, das, ohne den Raumsinn zu erregen, nur den Lichtsinn betrifft: Wird das Weiss auf dem schwarzen Grunde leuchtend erkannt, so ist die Reizschwelle erreicht. Figg. 1 und 2 zeigen die alte und die von mir verwandte Hinterwand des Photometers. Der Kasten ist beiläufig 31 cm lang, 23 cm breit und ca. 17 cm hoch. Der Radius der weissen Scheibe beträgt 3 cm, was ich zur richtigen Schätzung der Resultate verzeichne, denn die Reizschwelle variiert u. a. je nach der Grösse des Gesichtswinkels: Objekte von grösserem Gesichtswinkel bedürfen geringerer Helligkeit, um eben noch wahrgenommen zu werden, als solche von kleinerem Gesichtswinkel (Aubert).

Fig. 2.



Zur Beleuchtung wurde eine Normalkerze (Benzinflamme von 20 mm Höhe) verwendet.

Die Wahl der Farbe des Fixationsobjektes ist nicht gleichgültig. Abgesehen davon, dass Weiss auf schwarzem Grunde einen sich gut markierenden Kontrast gibt, empfiehlt sich die Anwendung einer weissen Lichtquelle — als solche haben wir ja die weisse Rundscheibe, welche das an der vorderen Photometerwand angebrachte Licht reflektiert, anzusehen — aus folgenden Gründen: Aus Untersuchungen Uhthoffs (15) über die Beziehung zwischen der Sehschärfe und Beleuchtungsintensität geht hervor, dass die Sehschärfe bei weissem Lichte auch bei Abnahme der quantitativen Lichtintensität verhältnismässig grösser ist, als bei farbigem Lichte. Nur das gelbe Licht nähert sich in seiner diesbezüglichen Hochwertigkeit stark dem weissen. Ich habe die von Uhthoff für weiss und gelb bei grösster (3600) und kleinster (0,01) Lichtintensität gefundenen Sehschärfegrade verglichen:

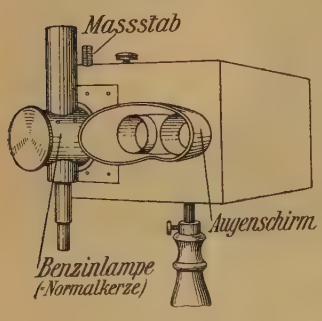
Intensität	Durchschnittliche Sehschärfe für		Differenz
	weiss	gelb	
3600	1,848	1,768	0,08
0,001	0,027	0,0178	0,0092

Die sich hierbei ergebenden minimalen Differenzen beweisen, dass es für die Sehschärfe ziemlich gleichgültig ist, ob weisses oder gelbes Licht verwendet wird. Wir dürfen hieraus einmal entnehmen, dass weisses Licht für unsere Lichtsinnprüfungen wegen des sich dabei ergebenden Maximums an Sehschärfe am geeignetsten ist, ferner aber, dass ein gelblicher Ton in unserer Lichtquelle, wie er sich auch bei unseren Versuchen mit der Benzinkerze einstellt, die günstigen Untersuchungsbedingungen keineswegs beeinträchtigt.

Es wurde bei den Adaptationsversuchen stets binokular untersucht. Es scheint dies deshalb von Wichtigkeit zu sein, da nach Piper (11) „bei Dunkeladaptation die Helligkeitsempfindung zweier Augen die eines erheblich an Intensität übertrifft". Dies haben frühere Autoren nicht immer berücksichtigt.

Da zur Notierung der Resultate während des Versuches ein schwaches Licht hinter einem Schirme im Zimmer brennt und die am Apparate befindliche Skala unter momentaner Belichtung abgelesen werden muss, ergab es sich in den Vorversuchen dass die bisher üblichen Augenlöcher einen völlig ungenügenden Abschluss gegen von aussen kommende Lichteindrücke boten. Ich liess sie daher noch mit einem Schirm umgeben, wie er ähnlich an den Handstereoskopen gebräuchlich ist. In diesen Schirm kann der zu Untersuchende die Augenpartie seines Gesichtes in weitem Umkreise bequem einbetten und so ausgezeichnet gegen äussere Lichteindrücke abdichten. Gesichter, die sich den Formen des Schirmes nicht völlig anschmiegten, wurden schnell mit Watte abgedichtet.

Fig. 3.



Es stellte sich bei den Vorversuchen als notwendig heraus, vor die Lichtquelle noch fünf Scheiben Kanzleipapier zur Abschwächung des Lichtes zu setzen, um feinste Veränderungen an der relativ groben Skala des Apparates ablesen zu können. Mit den beschriebenen Modifikationen stellt der von mir benutzte Förster-Photometer einen durchaus brauchbaren Apparat dar (Fig. 3). Weitere Verbesserungen, wie z. B. die Verlegung der Lichtquelle an ihren natürlichen Platz, die Hinterwand des Kastens, versagte ich mir, möchte sie aber für spätere Versuche empfehlen.

Die gleichen inneren Bedingungen wurden bei den Versuchspersonen dadurch erzielt, dass alle zu Beginn der Adaptationsuntersuchung auf eine Lichtstärke von gleichem Masse adaptiert wurden. Wie bereits oben erwähnt, halte ich es bei meinen vergleichenden Untersuchungen für das beste, nicht den Gesamtablauf (wobei man von der unsicheren Helladaptation ausgeht), sondern einen bestimmten Abschnitt des Gesamtadaptationsverlaufes isoliert zu beobachten.

Ich wählte nach mannigfachen Vorversuchen als wesentlichste Phase die aus, welche innerhalb von ca. 10—12 Minuten zwischen der Diaphragmaöffnung 4 und 0 an dem modifizierten Förster-Photometer abläuft. Auf 4 mussten also alle Versuchspersonen adaptiert werden. Wie dies nach meiner empirisch ermittelten Methode geschah, wird sich aus der folgenden Beschreibung des Ganges der Untersuchung ergeben.

Gang der Untersuchung.

Die Versuchspersonen mussten in dem Dunkelzimmer, in dem die Untersuchungen angestellt wurden, 15 Minuten mit überdies verbundenen Augen sitzen, nachdem sie vorher über die Einrichtung des Apparates, den Gang der Untersuchung und die Erfordernisse an die Aufmerksamkeit der Untersuchungspersonen unterrichtet worden waren. Nach Ablauf der 15 Minuten wurde die Binde von den Augen entfernt und zu einem später zu berücksichtigenden Zwecke, am Photometer die Reizschwelle so bestimmt, dass das geschlossene Diaphragma so weit geöffnet wurde, bis der Untersuchte den ersten Lichtschein bekam. Diese Prozedur dauerte nur wenige Augenblicke. Jetzt wurde die Person in den benachbarten taghellen Raum entlassen. Wenn die Personen nach 5 Minuten langem Aufenthalt in diesem Raum wieder an den Apparat im Dunkelzimmer gebracht wurden, waren sie teils bald, teils nach Verlauf weniger Sekunden auf Nr. 4 der Skala adaptiert, und die Hauptuntersuchung zur Feststellung des Adaptationsverlaufs begann. Ich verkleinerte schnellstens die Lichtquelle, bis die Versuchsperson (die zur Sicherheit beständig befragt wurde) nichts mehr zu sehen angab. Jetzt wurde so lange gewartet, bis das Licht wieder erschien (also die Retina für die niedrigere Reizschwelle adaptiert war), worauf sofort das Fenster weiter zugeschraubt wurde, bis die Versuchsperson wieder nichts mehr wahrnahm. Diese Prozedur wurde bis etwa 10 Minuten lang wiederholt, nach welcher Zeit gewöhnlich ein grosser Stillstand in den Angaben eintrat. Bekam, was manchmal auch um diese Zeit geschah, eine Versuchsperson Augenflimmern oder ähnliche Sensationen, so wurde der Versuch als natürlicherweise beendet angesehen (Förster). Nach den Angaben der Versuchspersonen machte ich nun meine Ablesungen auf der Photometerskala und notierte rasch die Zahlen der jeweils erreichten Reizschwellen, während ein Gehilfe sowohl die Gesamtzeit als auch die Momente auf $^1/_8$ Minute genau verzeichnete, in welchen die jeweiligen Adaptationsstufen erreicht wurden. Das jedesmalige Erblicktwerden und Verschwinden des Lichtscheins konnte als zeitlich zusammenfallend angenommen werden. Die Zeit wurde stets verzeichnet, wenn das Licht verschwand.

Nach manchen Vorübungen arbeitete der so aufgebotene Apparat glatt und zuverlässig. Die Untersuchungen wurden alle zu den gleichen Nachmittagsstunden vorgenommen. Ich musste im Durchschnitt 30 Minuten auf jeden Versuch verwenden.

Bezüglich der Auswahl des Untersuchungsmaterials ist genugsam bekannt, dass nur intelligente Leute auf höherer Bildungsstufe imstande sind, über Sinneswahrnehmungen prompte Angaben zu machen. Ich war so glücklich, eine grössere Zahl von Persönlichkeiten für meine Versuchszwecke bereit zu finden, deren Angaben an Zuverlässigkeit und Genauigkeit nichts zu wünschen übrig lassen dürften, und denen ich mich für die Bereitwilligkeit, mit der sie sich den anstrengenden Untersuchungen unterzogen, zu grossem Danke verpflichtet fühle.

Meine Erhebungen mussten ferner einwandsfrei normale Gesundheitsverhältnisse bei den Versuchspersonen voraussetzen. Hiernach musste eine weitere Auslese erfolgen. Nur ganz leichte Grade von Myopie und selbstredend auch Presbyopie wurden zugelassen. Personen, deren Angaben gesunde Seh- und Stoffwechselverhältnisse nicht als sicher annehmen liessen, wurden vorher diesbezüglich untersucht. Alle Leute über 50 Jahre wurden auf Eiweiss und Zucker untersucht;

wo dies nicht angängig erschien, wurde der betreffende Hausarzt hierüber befragt.

Unter diesen Vorbedingungen machte ich über 40 Untersuchungen von Leuten der verschiedensten Altersstufen, rangierte aber noch eine Anzahl der Resultate aus, da sie mir nicht einwandsfrei erschienen, woran teils mangelhafte Gewandtheit in der Handhabung der Methode (bei den ersten Untersuchungen), teils Zwischenfälle verschiedenster Art schuld waren. Ich verarbeitete schliesslich die Resultate von 30 Untersuchungen in folgender Weise.

Auf eigens hierzu angefertigten Formularen wurden die bei der Untersuchung jeder einzelnen Person gewonnenen Resultate zu Kurven derartig vereinigt, dass auf den Abszissen die Zeiten von $^1/_4$ zu $^1/_4$ Minute, auf den Ordinaten die mit den jeweiligen Zeitangaben zusammenfallenden Reizschwellen (ausgedrückt in mm-Länge der Diagonale des Photometerdiaphragmas) eingezeichnet wurden. So wurde von jeder Versuchsperson sofort nach erfolgter Untersuchung eine Adaptationskurve entworfen.

Eine Kurve entspricht in der Regel einer durchschnittlichen Untersuchungsdauer von ca. 10 Minuten, die Ordinatenhöhe wird ausgedrückt durch einen beliebig gewählten Massstab, dessen Einheiten einem Millimeter der Diagonale des Photometerdiaphragmas entsprechen, und umfasst 40 solcher Einheiten, also 4 cm der Diagonale, in Uebereinstimmung mit dem Modus, nach welchem die Untersuchung von dem Adaptationsgrade ausgeht, der einer Diaphragmaöffnung von 4 cm Diagonale entspricht. Wir gewinnen auf diese Art sinnfällige Darstellungen des Adaptationsvorganges, wie er jeder Versuchsperson eigentümlich, man kann sagen für diese charakteristisch ist.

Ich muss es mir wegen Raummangel versagen, hier alle Einzelkurven zu reproduzieren. Ich glaube dies um so eher unterlassen zu können, als die Kurven in Fig. 4 die Durchschnittswerte aus den Einzelkurven veranschaulichen (s. u.!). In der Tat zeigen die Kurven der zu demselben Altersdezennium gehörenden Versuchspersonen gewisse Aehnlichkeit in ihrem Verlaufstypus, die sich — unbeschadet durch die individuellen Schwankungen — besonders in der Annäherung der Grenzwerte geltend macht[1]).

Die sich aus den Kurven ergebenden Variationen im Verlaufe sind enorm, lassen sich aber unter gemeinsamen Gesichtspunkten rubrizieren. Die Kurven zeigen Verschiedenheiten hinsichtlich der Dauer des Verlaufs, hinsichtlich der Schnelligkeit der Adaptation, hinsichtlich der Adaptationspotenz, d. h. der Fähigkeit, innerhalb gewisser Zeitgrenzen für ein möglichst grosses Gebiet, also bei grossen Differenzen in der absoluten Helligkeit zu adaptieren. Dieser Adaptationspotenz entsprechend sind die Verschiedenheiten hinsichtlich der schliesslich er-

[1]) Die Originale der Einzelkurven sind im Besitze der Mediz. Fakultät zu Breslau.

reichten Reizschwelle. Ferner unterscheiden sich die Kurven hinsichtlich der Zahl der Angaben, unabhängig von der Schnelligkeit der Adaptation und Adaptationspotenz.

Es kommen in den Kurven zum Ausdruck:

1. Die Dauer des Ablaufes in der Länge der Kurve, gemessen auf der Abszisse vom Anfang bis zur letzten Punktation, von wo ab die Kurve parallel zur Abszissenachse läuft.

2. Die Schnelligkeit der Adaptation in der mehr oder minder starken Wölbung der Kurven.

3. Die Adaptationspotenz in der Gesamthöhe der Kurve resp. der letzten Punktation, die der Höhe der schliesslich erreichten Reizschwelle im umgekehrten Verhältnisse entspricht.

4. Die Zahl der Angaben, d. h. die Häufigkeit der Aenderung des Adaptationsgrades, in der Häufigkeit der Punktation. (Gebrochenheit der Kurvenlinie).

Betrachtet man die Kurven von diesen Gesichtspunkten aus, so unterscheidet man:

1) lange,	2) kurze Kurven,
3) stärker gewölbte,	4) schwächer gewölbte „
5) hohe,	6) niedrige „
7) mehr gradlinige,	8) mehr gebrochene „

(vgl. Fig. 4).

Man kann wohl von vornherein lange, steile und hohe Kurven als den Ausdruck günstiger, kurze, niedrige und flache Kurven als den Ausdruck ungünstiger Adaptationsverhältnisse ansehen. Bei der Gradlinigkeit resp. Gebrochenheit der Kurve (ad 7 und 8, Zahl der Angaben s. o.) scheinen mir individuelle psychische Verschiedenheiten nicht unwesentlich ursächlich mitzusprechen. Um ein Bild von dem Einfluss des Lebensalters auf die Adaptationsverhältnisse zu gewinnen, wurden die Kurven in 8 Lebensdezennien geordnet. Ich verarbeitete die zuverlässigen Angaben von 30 normalen Personen folgender Altersstufen:

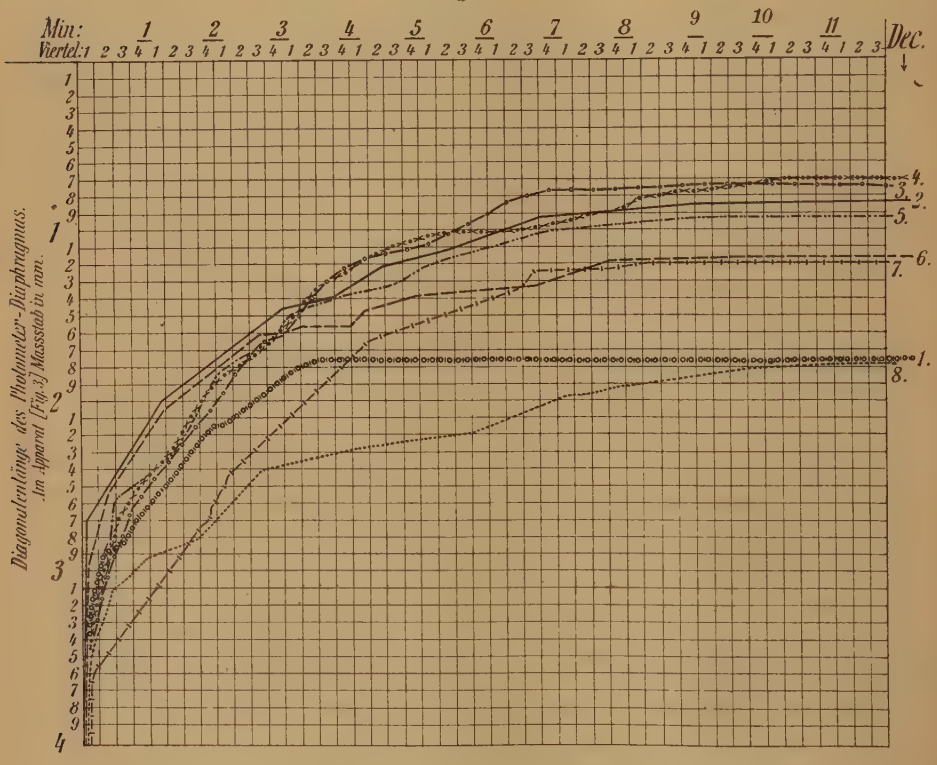
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8. Dezennium.
5	10	22	32	40	52	60	70
6	13	25	33	43	53	61	79
	14	25	34	45	59	65	
	14	26	36	49			
	18	27					
	19	29					

Jahre alt.

Die beiden Kinder unter 10 Jahren, die ich untersuchte, waren ausgesucht geweckte Kinder, und ich versäumte nicht, sie vor der Unter-

suchung genau über ihre Aufgabe zu instruieren und sie einzuüben, so dass auch deren Angaben als zuverlässig betrachtet werden dürfen. Für jedes Dezennium wurde eine Durchschnittskurve entworfen, wobei folgende Berechnung zugrunde gelegt wurde: Aus jeder Kurve wurden die jeweiligen Werte der Ordinatenhöhe für alle Minutenviertel herausgelesen, und in Tabellen, nach Dezennien geordnet, eingezeichnet. Aus diesen Tabellen wurden dann durch Addition der für jedes Minutenviertel in Betracht kommenden Posten und durch Division der Summe durch die Anzahl der zu dem Dezennium gehörenden Kurven Durch-

Fig. 4.



schnittswerte der Ordinatenhöhe für jedes Minutenviertel berechnet. Nach den Resultaten der Tabellen wurde darauf für jedes Dezennium eine Durchschnittskurve gezeichnet. (Fig. 4).

Auch bei diesen, auf demselben Kartennetz gezeichneten Kurven sind die Zeiten als Abszissen, die Diaphragmaöffnungen als Ordinaten genommen.

Ich will jetzt die einzelnen Alterskurven kritisch durchgehen. Hierbei lasse ich die unter 7 und 8 (s. oben) genannten Eigenschaften der Kurven ausser Betracht.

Die Durchschnittskurve des 1. Dezenniums ist:
1. kurz (schon nach $3\,^1/_2$ Minuten wird die Kurve wagerecht),
2. ziemlich stark gewölbt,
3. sehr niedrig.

Demnach ist die Adaptation im ersten Dezennium von geringer Dauer des charakteristischen Ablaufs (ich wiederhole, dass „unter charakteristischem Ablauf" der von mir lediglich untersuchte wesentlichste Ausschnitt aus der Gesamtadaptation zu verstehen ist), schnell und von schwacher Potenz. Die schliesslich erreichte Reizschwelle liegt sehr hoch (d. h. in der Tabelle sehr niedrig, da die Reizschwelle im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse der Diaphragmaöffnung steht).

Im 2. Dezennium ist die Kurve erstens lang, zweitens stark gewölbt, drittens hoch. Die Adaptation also von grosser Verlaufsdauer, schnell und von starker Potenz. Schliessliche Reizschwelle niedrig.

Das 3. und 4. Dezennium zeichnet sich durch grosse Aehnlichkeit der Kurven aus, diese sind: 1. lang, 2. stark gewölbt, 3. sehr hoch; die Adaptation ist also in diesen beiden Dezennien auf der Höhe: von grosser Verlaufsdauer, schnell, und von grösster Potenz, die schliessliche Reizschwelle liegt im 4. Dezennium am niedrigsten.

Eine deutliche Abnahme der Adaptationsfähigkeit zeigt sich bereits im 5. Dezennium. Seine Kurve ist zwar noch: 1. lang, 2. ziemlich stark gewölbt, aber 3. nicht mehr so hoch, wie die 3 vorhergehenden Kurven. Die Adaptationspotenz nimmt also im 5. Dezennium ab, die schliessliche Reizschwelle liegt schon höher.

Die Kurve des 6. Dezenniums ist noch: 1. lang, 2. anfangs stark gewölbt, doch bald sich abflachend, 3. niedriger als die des 5. Dezenniums, die Schnelligkeit der Adaptation lässt also im 6. Dezennium nach, wie die Adaptationspotenz ständig abnimmt und die schliessliche Reizschwelle höher wird.

Die Kurve des 7. Dezenniums zeigt sich bei 1. ziemlicher Länge, 2. schwach gewölbt, und 3. niedrig. Die Adaptation wird also langsam und schwach.

Den Tiefstand der Adaptationskraft verrät die zwar 1. lange, aber 2. schwach gewölbte und 3. sehr niedrige Kurve des 8. Dezenniums: Von der Adaptation des Kindesalters einerseits durch die Länge der Verlaufsdauer, andererseits durch die Langsamkeit unterschieden, gleicht die Adaptation des Greises der des Kindes in der höchst geringen Adaptationspotenz, die ihren Ausdruck darin findet, dass die schliessliche Reizschwelle ebenso hoch wie im ersten Dezennium liegt. Man

gewinnt demnach aus dem Studium der Vergleichskurven folgendes Resultat:

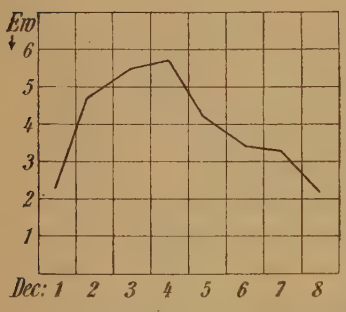
Das Lebensalter ist von nachweislichem Einflusse auf die Adaptationsverhältnisse.

Diese sind im 1. Dezennium noch ungünstig, bessern sich dann bald und sind im 3. und 4. Dezennium am besten, darauf werden sie allmählich schlechter und zeigen sich im Greisenalter (8. Dezennium) am schlechtesten. Wenn man die einzelnen Qualitäten der Adaptation berücksichtigt, so kann man aussagen: Die Dauer des charakteristischen Adaptationsverlaufs ist in der Kindheit gering, bleibt aber dann zeitlebens ziemlich konstant — 10—12 Minuten.

Die Schnelligkeit der Adaptation, schon in der Kindheit gross, lässt im höhern Alter wesentlich nach.

Die Adaptationspotenz — und diese ist das eigentliche Wesen der Adaptationsfähigkeit — ist in der Kindheit und im höhern Alter gering, nimmt vom 5.—6. Dezennium an deutlich ab. Die schliesslich erreichten Reizschwellen verhalten sich entsprechend der Potenz. Noch charakteristischer wird das Bild, wenn ich anstatt der schliesslichen Reizschwellen die diesen entsprechenden Empfindlichkeitswerte in einer Kurve darstelle (Fig. 5). Diese Empfindlichkeitswerte ermittle ich, indem ich für die ursprüngliche Reizschwelle (Rs.), welche vier betrug, den Empfindlichkeitswert (Ew) gleich eins setze, der im umgekehrten Verhältnis zur Reizschwelle stehen muss. Dann ist:

Fig. 5.



$$\frac{1}{Ew} = \frac{Rs}{4} \quad \text{oder} \quad Ew = \frac{4}{Rs.}$$

Ich bin mir wohl bewusst, dass meine Resultate einer Einschränkung bedürfen. Um zu einem abgeschlossenen Urteil über den Einfluss des Lebensalters auf die Adaptation zu gelangen, muss noch eine weit grössere Anzahl von Untersuchungen überblickt werden. Wenn ich auch auf Grund der sorgfältigen Auswahl der Versuchspersonen und einer möglichst exakten Methode den einzelnen Resultaten eine gewisse Zuverlässigkeit zuschreiben darf, so erscheint es mir doch wünschenswert, besonders über das erste und letzte Dezennium, aus denen ich leider nur wenig Versuchspersonen gewinnen konnte, meine Untersuchungen fortgesetzt zu sehen.

Die vorliegende Arbeit ist im Laufe des Jahres 1904 entstanden und befand sich im Rahmen einer grösseren Arbeit bereits im Dezember 1904 in Händen der medizinischen Fakultät zu Breslau. Die von

Wölflin in Gräfes Archiv 1905 veröffentlichten Untersuchungen waren mir demnach bei Abfassung meiner Arbeit unbekannt.

Schliesslich ist es mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle Herrn Geheimrat Prof. Dr. Uhthoff, sowie Herrn Prof. Dr. Heine meinen wärmsten Dank zu sagen für das meinen Untersuchungen durch Rat und Tat bewiesene lebhafte Interesse.

Literaturverzeichnis.

1. Aubert, Herm., Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. — 2. Charpentier, Aug., La sensibilité lumineuse et l'adaptation rétinienne. Arch. d'ophthalm. VI, S. 196, 1886. — 3. Charpentier, Experience sur la marche de l'adaptation rétinienne. Arch. d'ophthalm. VI, S. 294, 1886. — 4. Förster, R., Ueber Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie. Breslau 1857. — 5. Goethe, J. W. v., Zur Farbenlehre. Didakt. Teil I, 10. — 6. Hering, Ewald, Zur Lehre vom Lichtsinne. Wien 1878. — 7. Krienes, H., Ueber Adaptation und Adaptationsstörung (akute Hemeralopie) Festschrift für R. Förster. — 8. Nagel, W. A., u. Schäfer, K. L., Ueber das Verhalten der Netzhautzapfen bei Dunkeladaptation des Auges. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorg., Bd. 34, 1904. — 9. Pertz, A., Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerte der Lichtreize. Inaug.-Diss. Freiburg i. B. 1896. — 10. Piper, H., Ueber Dunkeladaptation. Zeitschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorg., Bd. 31, 1903. — 11. Piper, H., Ueber das Helligkeitsverhältnis monokular und binokular ausgelöster Lichtempfindungen. Ztschr. f. Psych. u. Phys. d. Sinnesorg., Bd. 32, 1903. — 12. Senn, Alb., Beitrag zu den Funktionsprüfungen der Netzhautperipherie. Lichtsinnperimetrie. Basel u. Leipzig 1895. — 13 Treitel, Th., Ueber Hemeralopie und Untersuchung des Lichtsinnes. v. Graefes Arch. f. Ophth., Bd. XXXI 1, S. 139, 1885. — 14. Treitel, Th., Ueber das Verhalten der normalen Adaptation. v. Graefes Arch. f. Ophth., Bd. XXXIII, 1887. — 15. Uhthoff, W., Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin. Sitzung vom 13. Febr. 1885. — 16. Wolffberg, L., Ueber die Prüfung des Lichtsinnes. v. Graefes Arch. f. Ophth., Bd. XXXI 1, S. 1, 1885.

Lebenslauf.

Ich, Curt Cohen, wurde am 25. Oktober 1879 als Sohn des verstorbenen Kaufmanns Ascher Cohen und seiner gleichfalls verstorbenen Ehefrau Nanny, geb. Apt, zu Breslau geboren. Daselbst erhielt ich meine Schulbildung auf der kath. höh. Bürgerschule, auf dem Elisabeth-Gymnasium und auf dem Kgl. Friedrichs-Gymnasium, welches ich Ostern 1897 mit dem Berechtigungszeugnis für den einj.-freiw. Dienst verliess, um mich einem technischen Berufe zuzuwenden. Ich absolvierte 1897/98 die höh. Webeschule zu Berlin und arbeitete darauf ein Jahr lang praktisch in einer Weberei und in einer Maschinenfabrik in Luckenwalde, resp. Breslau, bis Ostern 1899. Von meinem Berufe unbefriedigt, widmete ich ein Jahr privater Vorbereitung zum Abiturientenexamen, besuchte von Ostern 1900 ab das Kgl. Gymnasium zu Jauer i. Schl., wo ich Michaelis 1900 das Zeugnis der Reife erhielt. Darauf studierte ich Medizin in Heidelberg und Breslau. Die ärztliche Vorprüfung bestand ich Michaelis 1902 in Breslau, die ärztliche Staatsprüfung beendete ich daselbst am 6. August 1905.

Im Wintersemester 1902/03 war ich als Famulus am pathologischen Institut der Universität Breslau (Dir.: Geh.-Rat Ponfick) beschäftigt. In den Jahren 1903 und 1904 arbeitete ich in der entwicklungsgeschichtlichen Abteilung der Breslauer Anatomie unter Leitung des Herrn Prof. Dr. Schaper † und veröffentlichte von hier aus gemeinsam mit Prof. Schaper im Druck:

A. Schaper und Curt Cohen,
Ueber zellproliferatorische Wachstumszentren und deren Beziehungen zur Regeneration und Geschwulstbildung. — Arch. f. Entw.-Mech. d. Org. XIX. Bd., 3. Heft, 1905.

Ferner bearbeitete ich mit Erfolg die seitens der medizinischen Fakultät Breslau für 1904 gestellte Preisaufgabe,

— „Ueber den Einfluss des Lebensalters auf die Adaptation und die Nachbildverhältnisse des menschlichen Auges sowie über die Einwirkung des Adaptationszustandes auf den Lichtsinn (Reizschwelle und Unterschiedsschwelle)“ —

deren ersten Teil ich zu vorliegender Dissertation verwandte. —

Von dem praktischen Jahre, dessen Hälfte mir erlassen wurde, leistete ich 4 Monate an der inneren Abteilung des Fränckelschen Hospitals zu Breslau (Dir.: San.-Rat Sandberg) und 2 Monate an der Kgl. chirurgischen Universitätsklinik daselbst (Dir.: Geh.-Rat Garré) ab.

Meine Universitätslehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

Bonhoeffer, Brefeld, Bütschli, Cohn, Czerny, Ebbinghaus, Ercklentz, Filehne, Fischer, Flügge, Fürbringer, Gottstein, Hasse, Heine, Hinsberg, Hürthle, Kausch, Klaatsch, Klingmüller, Krafft, Krause, Kückenthal, Küstner, Ladenburg, Mann, v. Mikulicz-Radecki †, Muther, Neisser, Peter, Ponfick, Quincke, Schäffer, Schaper †, Stahr, Stern, Storch, v. Stümpell, Thiemich, Thode, Uhthoff, Winkler.

Allen diesen Herren fühle ich mich zu aufrichtigem Danke verbunden.